

## INFORME 249-7

UTILIZACIÓN DE SONDEO OBLICUO PARA LOS ANÁLISIS Y  
OPTIMIZACIÓN DE LA PROPAGACIÓN

(Programa de Estudios 27B/6)

(1959-1963-1966-1970-1974-1978-1982-1986-1990)

**1. Introducción**

El presente Informe trata la utilización de sondeo oblicuo para el análisis de las condiciones de propagación en un circuito fijo punto a punto, y para la selección en tiempo real de la Frecuencia Optima de Trabajo (FOT). Para la evaluación de un circuito en ondas decamétricas, se aprovecha el conocimiento de los modos de propagación, y el retardo y dispersión por el efecto Doppler en cada modo, en función de la frecuencia. Las aplicaciones de las técnicas descritas en el presente Informe para la evaluación de circuitos en tiempo real figuran en el Informe 889.

**2. Técnicas**

La medición de la estructura del modo puede lograrse mediante transmisiones de onda continua con modulación de frecuencia con impulso por pasos de frecuencia o con barrido de frecuencia, ofreciendo esta última la ventaja de que requiere una potencia de cresta reducida [Fenwich y Barry, 1965]. El sondeo oblicuo es una técnica muy eficaz para el estudio de las condiciones de propagación en un circuito fijo punto a punto, y se ha utilizado para suministrar datos de prueba para la validación de técnicas de predicción de la MUF, para la identificación de modos de propagación inhabituales y otros objetivos para los que existe gran cantidad de información detallada presentada en un ionograma oblicuo. Mediante experimentos de propagación a larga distancia utilizando ionosondas digitales de incidencia oblicua, se han medido la polarización, la amplitud, la fase, la frecuencia Doppler y el ángulo de incidencia [Reinisch y otros, 1985].

La ionosonda de incidencia oblicua convencional no mide las características del efecto Doppler. Aunque es posible medir la dispersión debida al efecto Doppler en una transmisión de ondas continuas, generalmente no es posible resolver la contribución de modos individuales. La dispersión por retardo y la dispersión por el efecto Doppler en cada modo pueden medirse utilizando ondas continuas con modulación de frecuencia de banda estrecha [Earl y Ward, 1987] o la sonda de impulsos codificados que utiliza un receptor con correlación en tiempo real [Wagner y Goldstein, 1985].

**3. Resultado de los análisis de propagación**

Se han efectuado pruebas de transmisiones de impulsos con incidencia oblicua en Canadá [Hatton, 1961], Francia [Delobbeau y otros, 1955], República Federal de Alemania [Möller, 1960], Japón [Aono, 1962], Estados Unidos de América [Agy y Davies, 1959; Tveten, 1961] y en Africa [Davies y Barghausen, 1966]. Se han realizado muchas mediciones oblicuas, algunas de las cuales han sido graduadas para la frecuencia máxima observada (MOF), en circuitos en la banda de ondas decamétricas en distintas partes del mundo y en condiciones diversas de actividad solar entre 1981 y 1988 [Goodman y Daehler, 1988]."

### 3.1 Comparación de la MUF con la MOF

Debe tenerse cuidado al comparar las frecuencias máximas observadas (MOF) con la MUF predicha para establecer si hay diferencias debido a la cartografía ionosférica o a la transformación de oblicuidad. La comparación de las frecuencias máximas observadas con las MUF predichas han mostrado que, las teorías de propagación existentes parecen adecuadas en general para el cálculo de la MUF básica en distancias de hasta varios miles de kilómetros.

McNamara [1975] observó que para dos circuitos de 2.000 km en Australia, la mediana mensual de las MUF de 1 salto predichas se encontraba dentro de un 5% de la MOF. Para los modos de propagación de 2 y 3 saltos las discrepancias eran mayores, parcialmente como resultado de las hipótesis de simplificación del método utilizado para los cálculos de la MUF (longitud de salto igual, sin inclinación).

Las máximas y mínimas frecuencias observadas (MOF y LOF), así como las partes del espectro en que la propagación por trayectos múltiples era mínima y los modos activos de propagación, se observaron en cinco trayectos de la URSS de distancias comprendidas entre 1000 km y 10 000 km [Smirnov, 1972]. En condiciones ionosféricas tranquilas, la MOF superó de ordinario de un 10 a un 35% la MUF básica, que se calculó utilizando el método de predicción de la URSS [Zhulina y otros, 1969]. El incremento de la MOF causado por la dispersión llegó al 10% aproximadamente. En periodos de perturbación magnética, la MOF fue menor que la MUF básica, aumentando la LOF. Se han realizado otros estudios [Rose y otros, 1978] utilizando la mediana horaria de la MOF en un trayecto durante 132 meses.

Se han realizado mediciones de MUF en circuitos en ondas decamétricas al nordeste de Estados Unidos de América durante un periodo de máxima actividad solar, y los datos experimentales concuerdan perfectamente con los valores previstos con los programas de previsión ITS-78 e IONCAP [Teters y otros, 1983; Millman y Swanson, 1985]. Daehler y otros [1987] y Roy y Sailors [1987] compararon las MUF predichas mediante distintos modelos de propagación con las MOF para numerosos trayectos.

Entre los resultados previstos y los observados puede haber notables diferencias si los cálculos se basan en modelos teóricos sencillos. La concordancia puede mejorarse teniendo en cuenta, en el método de la trayectografía, los gradientes de densidad electrónica [Röttger, 1967] y modelando los gradientes horizontales [Davies y Rush, 1985]. Por las mediciones del ángulo de llegada se puede determinar, en principio, hasta qué punto deben tenerse en cuenta los gradientes.

Al comparar las MUF y las MOF es sumamente importante calcular separadamente las MOF para cada modo de propagación de manera que las MOF y las MUF se comparen para el mismo modo de propagación. Si los datos de las MOF se tabulan sin tener en cuenta el modo, se deben analizar como los histogramas de cómputo en función de la MOF. Esto permite la identificación de los modos de propagación presentes. Los valores medianos calculados sin tener en cuenta el número de modos de propagación presentes en los datos observados, pueden ser muy engañosos [McNamara, 1974].

### 3.2 Estudio de modos anormales de propagación

La presencia de modos anormales de propagación en un circuito dado puede establecerse comparando los ionogramas oblicuos observados con ionogramas simulados para todos los modos usuales de propagación, o comparando las MUF fiables con los histogramas horarios de la MOF. Ambos métodos pueden revelar un modo de propagación con una MOF más alta que la MUF máxima predicha. El modo de propagación adicional podría corresponder, por ejemplo, a los modos Es, a modos combinados que comprenden Es ecuatorial [McNamara, 1974] o cualquiera de los dos modos de propagación transecuatorial (TEP) [Nielson y Crochet, 1974; McNamara, 1974].

En un experimento realizado en 1970 y en 1971 entre Japón y Australia, para trayectos de 5873 km [Kuriki y otros, 1974] y 7374 km [Tanohata y otros, 1975], el modo dominante de propagación entraña dos reflexiones en la capa F, con una reflexión en la superficie de la Tierra (modo 2F). Sin embargo, a menudo se recibieron señales en frecuencias más altas que la frecuencia máxima observada del modo 2F, aproximadamente entre las 10h00 y 20h00 (hora local). Este fenómeno apareció durante un 40% aproximadamente de cada hora de observación, y la MOF para este modo fue  $4 \pm 2$  MHz aproximadamente superior a la MOF del modo 2F simultáneo.

---

En bajas latitudes se observan MUF de explotación anormalmente elevadas, que corresponden a una dispersión nocturna en la capa F [Davies y Barghausen, 1966; Nielson y Crochet, 1974].

Tratándose de trayectos situados en latitudes elevadas, la MUF básica para distancias de transmisión de unos 2000 a 3400 km depende generalmente de la capa F1, especialmente durante el verano [Petrie y Stevens, 1965]. En el caso de trayectos de gran longitud, la propagación con una sola reflexión en la capa F2 (rayo de Pedersen) constituye el modo principal de propagación [Hagg y Rolfe, 1963] en determinadas condiciones, en una amplia gama de latitudes. La frecuencia máxima observada (MOF) puede, sin embargo, depender en algunos casos de un modo de propagación por Es. En un documento de investigación [Hunsucker y Bates, 1969] se presentaron otros resultados de sondeos en latitudes elevadas.

Al evaluar la utilidad de la capa Es como reflector de incidencia oblicua [Stevens, 1968a], hay que tener en cuenta su coeficiente de reflexión y las características del equipo de las ionosondas. Los datos obtenidos por radares e ionosondas mediante dispersión incoherente simultánea entrañan la existencia de frecuencias máximas observadas de hasta 72 MHz en la capa E esporádica, para trayectos de un salto en la región auroral [Hunsucker, 1975].

En el Informe 259 se describen los modos de propagación anormales que afectan la propagación en ondas métricas.

### 3.3 Separación magnetofónica

Kopka y Möller [1968] han estudiado la partición magnetoiónica en los componentes x y o por medio de la trayectografía. Se indican los resultados para un trayecto de 2000 km, en función de la latitud magnética y del acimut magnético. En general, la separación magnetoiónica en un trayecto Este-Oeste es inferior a la de un trayecto Norte-Sur. Aono [1962], Davies y Barghausen [1966] observaron que esta separación era casi igual al valor longitudinal de la girofrecuencia  $f_H$  en trayectos Norte-Sur. Agy y Davies [1959] apreciaron una separación de unos 0,2 MHz en un trayecto Este-Oeste de 2400 km y comprobaron que la separación disminuía al aumentar la distancia.

### 3.4 Características de la propagación por trayectos múltiples

Los resultados de sondeos por impulsos con barrido de frecuencia revelan que la dispersión del tiempo de propagación debida a la propagación por trayectos múltiples disminuye al aumentar la relación  $K$  (frecuencia de trabajo/MUF básica). En Davies [1965] figuran datos numéricos para una variedad de trayectos. Mediciones realizadas en la República Popular de China [Chen y Zhou, 1984], en un trayecto de 1340 km, revelan que para  $K \leq 1$ , la dispersión media presenta una disminución parabólica al aumentar  $K$  con un valor mínimo a  $K = 1$ , en tanto que para  $K \geq 1$  hasta la MUF de explotación, la dispersión media no varía. Análisis teóricos [Dai, 1985], han demostrado que para un valor dado de  $K$  la dispersión sigue una distribución normal y que la esperanza matemática y la varianza varían con el valor de  $K$ . Las mediciones realizadas confirman estos hechos.

Experimentos de propagación realizados en noviembre-diciembre de 1981 en un trayecto de círculo máximo de norte a sur de 11 000 km de longitud, han demostrado que la gama de frecuencias de la propagación en modo simple se hace máxima a una distancia de propagación de unos 2000-3500 km, disminuyendo luego gradualmente al aumentar la distancia. Es difícil identificar la propagación en modo simple a distancias superiores a unos 8000 km, dado que aparecen muchos ecos en modos complejos en la misma frecuencia [Ichinose y otros, 1985].

Los datos de retardo necesarios para simular el canal de ondas decamétricas (véase el Informe 549) al diseñar los sistemas de comunicaciones de banda ancha, pueden obtenerse a partir de ionogramas de incidencia oblicua. Sin embargo, la capacidad de análisis del retardo de algunos sistemas de sondeo puede no ser adecuada para permitir una utilización efectiva de los datos [Sailors y Hill, 1977].

### 3.5 Función de dispersión de canal

Se ha utilizado una sonda de canales de impulsos codificados con escalones de frecuencia para evaluar las condiciones de propagación en trayectos de alta latitud [Wagner y otros, 1987]. Los diagramas cronológicos del tiempo de respuesta a impulsos y las funciones de dispersión de canal construidas a partir de los datos permiten clasificar los distintos modos de propagación como especulares, multitrayecto-especulares, multitrayecto difuso. Se han realizado experimentos de propagación de corto alcance utilizando una sonda oblicua de impulsos codificados coherente para sondear el canal de comunicación en ondas decamétricas a una anchura de banda de 1MHz [Wagner y Goldstein, 1985]. Los experimentos dan mediciones de la amplitud, la fase, la dispersión de retardo de grupo.

Se han utilizado otras mediciones de sonda de canal en latitudes elevadas [Basler y otros, 1987] junto con un modelo teórico para determinar las características de la ionosfera responsables del retardo observado y de la dispersión por el efecto Doppler.

#### 4. **Aplicación de los resultados a enlaces reales en ondas decamétricas**

Los sondeos de incidencia oblicua son la forma más universalmente utilizada de sistemas de evaluación de canal en tiempo real de clase I (véase el Informe 889). Los resultados de los estudios de sondeos de incidencia oblicua han mostrado que tales equipos pueden utilizarse conjuntamente con sistemas de radiocomunicaciones para determinar las frecuencias de funcionamiento óptimas a corto plazo. Se han efectuado diversos estudios para determinar las mejoras que podrían lograrse con el empleo de los datos obtenidos por sondeos de incidencia oblicua [Probst, 1968; Stevens, 1968b; Slutz y otros, 1969].

Se ha conseguido mejorar las radiocomunicaciones, en condiciones de propagación desfavorables, haciendo una selección entre las frecuencias de trabajo disponibles cuando las predicciones o los programas de empleo de tales frecuencias de explotación no eran lo bastante precisos [Jull y otros, 1962].

Se ha observado que los datos proporcionados por los sondeos de incidencia oblicua podían facilitar considerablemente la evaluación del funcionamiento de un sistema de radiocomunicaciones. Si la propagación deja de ser una incógnita, es más fácil descubrir los defectos o las limitaciones del funcionamiento de tal sistema.

Sin embargo, diversos experimentos, incluidos sondeos ionosféricos en incidencia oblicua, revelan diversos problemas cuando el equipo de sondeo se utiliza paralelamente con el de comunicaciones, o cuando se emplea éste último para los sondeos. Ha de considerarse lo siguiente:

- las diferencias de sensibilidad operacional entre los parámetros de los equipos de comunicaciones y de sondeo;
- los errores resultantes de los sondeos efectuados en un trayecto ionosférico distinto del utilizado para las comunicaciones (especialmente cuando los datos de sondeo se emplean para la predicción cuantitativa de niveles de señal). De los estudios [Jull, 1968] se desprende que, con una separación de 32 km, los valores r.m.s. (raíz cuadrada de la media cuadrática) de las diferencias entre los niveles de señal ascienden a 5 dB cuando la información de sondeo se promedia durante ocho minutos;
- la no reciprocidad ionosférica da lugar a niveles desiguales de las señales transmitidas en sentido contrario, entre antenas lineales. La no reciprocidad del trayecto que se produce en presencia de desvanecimientos de polarización, puede reducirse considerablemente tomando la media de los niveles de la señal en ocho minutos [Jull, 1968];
- las diferencias de funcionamiento entre el equipo de sondeo y el de comunicaciones, en caso de interferencia;
- la dificultad de determinar la cadencia de repetición de los sondeos, necesaria para garantizar la validez de la información, cuando comienzan a variar las condiciones ionosféricas, como ocurre en periodos de perturbación;
- la dificultad de determinar una señal de sondeo representativa de la modulación del sistema de comunicaciones;

Las aplicaciones operacionales del sondeo con incidencia oblicua en ondas decamétricas son tratadas por la Comisión de Estudio 3 (véase el Informe 357). Las ionosondas oblicuas constituyen la forma más utilizada en los sistemas de evaluación del canal en tiempo real de clase I (véase el Informe 889). Sin embargo, otras técnicas ofrecen grandes posibilidades.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGY, V. y DAVIES, K. [1959] Ionospheric investigations using the sweep-frequency pulse technique at oblique incidence. *NBS J. Res.*, Vol. 63D, 151-174.
- AONO, Y. [1962] Study of radio wave propagation in sweep frequency pulse transmission tests in Japan. *J. Radio Res. Labs.* (Japón), Vol. 9, 42, 127-200.

- BASLER, R.P., PRICE, G.H., TSUNODA, R.T. y WONG, T.L. [1987] - HF channel probe. "The effect of the ionosphere on communication, navigation and surveillance systems", Eds J M Goodman, J.A. Klobuchar, H Soicher, G. Joiner, Government Printing Office, Washington, DC 20402.
- CHEN, Y. C. y ZHOU, G. N. [1984] Dependencia con la frecuencia de los parámetros de los canales ionosféricos (en Chino). *J. China Inst. Comm.*, Vol. 5. 2, 48-56.
- DAEHLER, M., REILLY, M.H., RHOADES, F J y GOODMAN, J.M. [1987] Comparison of measured MOFs with propagation model forecasts. Págs 4A-12. "The effect of the ionosphere on communication, navigation and surveillance systems", Eds, J.M. Goodman, J.A. Klobuchar, H. Soicher, G. Joiner, Government Printing Office, Washington, DC 20402.
- DAI, Y. S. [1985] Canal de ondas decamétricas variable en el tiempo (en Chino). Departamento de Publicaciones del Ministerio de Correos y Telecomunicaciones, Beijing, República Popular de China.
- DAVIES, K. [1965] Ionospheric radio propagation. NBS Monograph 80, 181, US Govt. Printing Office, Washington, DC 20402.
- DAVIES, K. y BARGHAUSEN, A. F. [1966] The effect of spread F on the propagation of radio waves near the equator. *Spread F and its effects upon radiowave propagation*. 437-466. AGARDograph 95. Ed. P. Newman, Technivision, Maidenhead, Reino Unido.
- DAVIES, K. y RUSH, C.M. [1985] - Reflection of high-frequency radio wave in inhomogeneous ionospheric layers. *Radio Science*, Vol. 20, pp. 303-309.
- DELOBEAU, F., EYFRIG, R. y RAWER, K. [1955] Résultats expérimentaux de transmission ionosphérique d'impulsions à incidence oblique. *Ann. des Télécomm.*, Vol. 10, 55-64.
- EARL, G.F. y WARD, B D. [1987] The frequency management system of the JINDALEE OTH Radar. *Radio Science*, 22, 275-291.
- FENWICK, R. B. y BARRY, G. H. [1965] Step by step to a linear frequency sweep. *Electronics*, Vol. 38, 66-70.
- GOODMAN, J.M. y DAEHLER, M. [1988] - The NRL data base of oblique-incidence soundings. Naval Research Laboratory Report 6337 (NTIS Accession N° AD-A199 777) National Technical Information Service, Springfield, VA 22161, Estados Unidos de América.
- HAGG, E. L. y ROLFE, W. [1963] A study of transatlantic radio propagation modes at 41.5 MHz. *Can. J. Phys.*, 41, 220-233.
- HATTON, W. L. [1961] Oblique-sounding and HF radiocommunication. *IRE Trans. Comm. System*, Vol. PGCS-9, 275.
- HUNSUCKER, R. D. [1975] Chatanika radar investigation of high latitude E-region ionization structure and dynamics. *Radio Sci.*, Vol. 10, 277-288.
- HUNSUCKER, R. D. y BATES, H. F. [1969] Survey of polar and auroral region effects on HF propagation. *Radio Sci.*, Vol. 4, 347-365.
- ICHINOSE, M., KURATANI, Y. y YAMAZAKI, I. [1985] HF propagation experiments made with a Chirp sounder aboard a ship. *J. Radio Res. Labs.* (Japón), Vol. 32, 136, 61-71.
- JULL, G. W. [1968] HF spatial and temporal propagation characteristics and sounding assisted communications. *Ionospheric Radio Communications*, 225-241. Ed. K. Folkestad, Plenum Press, Nueva York, NY 10011, Estados Unidos de América.
- JULL, G. W., DOYLE, D. J., IRVINE, G. W. y MURRAY, J. P. [1962] Frequency sounding techniques for HF communications over auroral zone paths. *Proc IRE*, Vol. 50, 1676-1682.
- KOPKA, H. y MÖLLER, H. G. [1968] MUF calculations including the effect of the earth's magnetic field. *Radio Sci.*, Vol. 3, 53-56.
- KURIKI, I., KASUYA, I., HOJO, H. y TANOHATA, K. [1974] Analysis of maximum observed frequencies on oblique ionograms by ray tracing technique. *J. Radio Res. Labs.* (Japón), Vol. 21, 161-190.
- McNAMARA, L.F. [1974] - Ionospheric predictions on trans-equatorial circuits. Proc IREE (Australia) mayo de 1974.
- McNAMARA, L.F. [1975] - The accuracy of MUF predictions within Australia. Ionospheric Prediction Service Series R Reports, IPS-R23, Sydney.

- MILLMAN, G. y SWANSON, R. W. [1985] Comparison of HF oblique transmissions with ionospheric predictions. *Radio Sci.*, Vol. 20, 3, 315-318.
- MÖLLER, H. G. [1960] Ergebnisse der Impulsübertragung mit veränderlicher Frequenz auf der Strecke Sodankylä-Lindau (Resultados de transmisiones de impulsos de frecuencia variable en el trayecto Sodankylä-Lindau). *Kleinheubacher Berichte*, 7, 115-123.
- NIELSON, D. L. y CROCHET, M. [1974] Ionospheric propagation of HF and VHF radio waves across the geomagnetic equator. *Rev. Geophys. Space Phys.*, 12, 688-702.
- PETRIE, L. E. y STEVENS, E. E. [1965] An F1 layer MUF prediction system for northern latitudes. *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-13, 542-546.
- PROBST, S. E. [1968] The CURTS concept and current state of development. *Ionospheric Radio Communications*, 370-379. Ed. K. Folkestad, Plenum Press, Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- REINISCH, B. W., BIBL, K., AHMED, M., SOICHER, H., GORMAN, F. J. y JODOGNE, J. C. [1985] Multipath and Doppler observations during transatlantic digital HF propagation experiments, propagation influences on digital transmission systems - problems and solutions. AGARD Conf. Proc. No. 363, *Propagation Influences on Digital Transmission*. Ed. J. H. Blythe. NASA Accession No. N85-19269. National Technical Information Service, Springfield VA 22161, Estados Unidos de América.
- ROSE, R. B., MARTIN, J. N. y LEVINE, P. H. [1978] MINIMUF-3: A simplified HF MUF prediction algorithm. Naval Ocean Systems Center Tech. Rep. 186, NTIS Accession No. AD A0522052. National Technical Information Service, Springfield, Va. 22161, Estados Unidos de América.
- RÖTTGER, J. [1967] Messung des Erhebungswinkels von Kurzwellen bei schrägem Einfall in die Ionosphäre (Medición del ángulo de radiación en ondas decamétricas con incidencia oblicua en la ionosfera). Tesis del Instituto de Geofísica y de Meteorología de la Escuela Superior Técnica de Brünshwig.
- ROY, T. N. y SAILORS, D. B. [1987] - HF maximum usable frequency (MUF) model uncertainty assessment. Naval Ocean Systems Center Technical Report 1184 (NTIS ACCESSION N° AD-A189 132) National Technical Information Service, Springfield, VA 2161, Estados Unidos de América.
- SAILORS, D. B. e HILL, J. R. [1977] Simulation and measurement of the HF channel. Naval Ocean Systems Center Tech. Rep. 111, NTIS Accession No. A043384. National Technical Information Service, Springfield, Va. 22161, Estados Unidos de América.
- SLUTZ, R. J., GAUTIER, T. N. y LEFTIN, M. [1969] Short-term radio propagation forecasts in Southeast Asia. ESSA Tech. Rep. ERL-97-ITS-72. US Govt. Printing Office, Washington, DC 20402.
- SMIRNOV, V. B. Ed. [1972] Naklonnoe zondirovanie ionosfery (Sondeos de la ionosfera con incidencia oblicua). Colección de artículos, N.º 1, publicados por Gidrometizdat, Leningrado, URSS.
- STEVENS, E. E. [1968a] The significance of sporadic E propagation in determining the MUF. *Ionospheric Radio Communications*, 289-293. Ed. K. Folkestad, Plenum Press, Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- STEVENS, E. E. [1968b] The CHEC sounding system. *Ionospheric Radio Communications*, 359-369. Ed. K. Folkestad, Plenum Press, Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- TANOHATA, K., YAMAOKA, M., NAKAJIMA, M., SAKAMOTO, T., IGUCHI, M. y YAMASHITA, K. [1975] Some consideration of maximum observed frequencies on the path between St. Kilda and Yamagawa. *Rev. Radio Res. Labs.* (Japón), Vol. 21, 33-41.
- TETERS, L. R., LLOYD, J. L., HAYDON, G. W. y LUCAS, D. L. [1983] Estimating the performance of telecommunication systems using the ionospheric transmission channel - ionospheric communications analysis and prediction program user's manual. NTIA Report 83-127. US Govt. Printing Office, Washington, DC 20402.
- TVETEN, L. H. [1961] Long-distance one-hop F1 propagation through the auroral zone. *J. Geophys. Res.*, Vol. 66, 1683-1684.
- WAGNER, L. S. y GOLDSTEIN, J. A. [1985] - High resolution probing of the HF ionospheric sky wave channel: F2 layer results. *Radio Science*, Vol. 20, pp. 287-302.
- WAGNER, R. P., PRICE, G. H., TSUNODA, E. T. y WONG, T. L. [1987] - HF channel probe. "The effect of the ionosphere on communication navigation and surveillance systems", Eds. J. M. Goodman, J. A. Klobuchar, H. Soicher, G. Joiner, Government Printing Office, Washington, DC 20402.
- ZHULINA, E. M., KERBLAĬ, T. S., KOVALEVSKAYA, E. M. y colaboradores [1969] *Osnovy dolgosrochnogo radioprognozirovaniya* (Principios básicos de previsión radioeléctrica a largo plazo) 172 páginas. Editorial Nauka, Moscú, URSS.